Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 1, June 2024, pp. 75-91
Original Research

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir/

پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۱، نیمهٔ اول ۱۴۰۳، ص. ۹۱-۷۵
نوع مقاله: پژوهشی

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.85616.1076

The Effect of Irrigation Interval and Different Doses of Zeolite on the Growth and Yield Indices on White Bean (*Phaseolus lanatus* L.)

Reza Rezvani[1]*, Mohammad Kafi[2]

Received: 29-11-2023
Revised: 23-01-2024
Accepted: 07-02-2024
Available Online: 01-06-2024

Cite this article:
Rezvani, R., & Kafi, M. (2024). Investigating the effect of irrigation interval and different doses of zeolite on the growth and yield indices on white bean (*Phaseolus lanatus* L.). *Iranian Journal of Pulses Research*, *15*(1), 75-91. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.85616.1076

Introduction
The increasing demands for pulse crops and the lack of water resources in most parts of Iran, especially in dry areas, need to employ new strategies to increase water productivity of pulse crops. One of the new methods in managing water and soil resources is the use of zeolite as a storage tank, which prevents wastage and increases the efficiency of irrigation water particularly in light soils. The purpose of this research was to determine the effect of different amounts of zeolite and irrigation interval on growth and yield indices in Pak cultivar of white beans (*Phaseolus vulgaris* L.).

Materials and Methods
This research was conducted in order to investigate the effect of different amounts of zeolite and irrigation interval on the growth and grain yield in Pak cultivar of white bean (*Phaseolus vulgaris* L.), in a split plot design based on randomized complete block design with three replications in a farm located in the bojnord city - north Khorasan in the agronomic year 2023-2024. The study factors included 7, 10 and 13 days irrigation interval in the main plot and three levels of zeolite in the soil (0 (no use), 5 and 10 $t.ha^{-1}$) in the sub plots. Data were analyzed using SAS 9.4 statistical package and figures were drawn by Excel program. Mean comparison were arranged by least significant differences in the 95% probability.

Results and Discussion
The results revealed that the white bean plants attained their shortest height across all three irrigation levels when zeolite was not applied in the plots. Conversely, when a zeolite level of 10 $t.ha^{-1}$ was introduced, there was an observed increase of 18.15% in the number of nodes per plant compared to scenarios where no zeolite was utilized. The highest level of zeolite consumption caused an increase of 13.88% in the seed weight compared to the level of no zeolite consumption. The highest seed yield of 4651.5 $kg.ha^{-1}$was recorded in the 7 day irrigation interval and zeolite consumption of 10 $t.ha^{-1}$. The lowest amount of electrolyte leakage related to irrigation interval of 10 and 7 days and consumption of 10 $t.ha^{-1}$ of zeolite was 14.8 and 12.34%, respectively. The consumption of 10 $t.ha^{-1}$ of zeolite caused a 21% increase in protein compared to the non-use of zeolite in white beans, and with the increase of the irrigation frequency from 7 to 10 days, although the amount of seed protein decreased, it did not have a significant difference with the level of irrigation once every 7 days. And when the irrigation cycle reached once every 13 days, the amount of seed protein decreased significantly by 6.8% compared to the irrigation cycle once every 7 days. It was also found that the addition of 10 tons of zeolite per hectare to the soil caused a 41.5% decrease in the amount of proline in white bean leaves compared to the absence of zeolite. In this research, it was found t.hat the level of 10 $t.ha^{-1}$ the highest biological yield of 13475 $kg.ha^{-1}$ recorded and it increased by 29.2% compared to the no zeolite consumption. By reducing the irrigation interval to 10 and 7 days, with the increase of zeolite consumption, the harvest index increased, and in the meantime, the highest index related to the irrigation cycle of 7 days and zeolite consumption of 10 tons was 35.5%.

Conclusions

1 and 2- Ph.D. Student and Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.
* Corresponding Author: reza.rezvani@mail.um.ac.ir

Based on the obtained results, it can be concluded that water stress resulted in a reduction in the growth characteristics and overall performance of white bean plants. The lowest values of parameters calculated in this research were observed at the level of no zeolite consumption and irrigation cycle of 13 days, and their highest values were observed at the level of zeolite of 10 $t.ha^{-1}$ and irrigation cycle of 7 days, which shows that Zeolite, help more water absorption and water return when the plant needs water, and increase the growth of different plant tissues and production of more products. Overall, it can be inferred that applying zeolite at a rate of 10 $t.ha^{-1}$, particularly in conjunction with a 7-day irrigation cycle, can optimize the yield and growth characteristics of white beans, specifically the Pak cultivar. However, we recommend further investigation into higher levels of zeolite application across various soil textures to enhance our understanding and refine cultivation practices.

Keywords: Electrolyte leakage, Legumes, Proline, Soil amendment, Superabsorbent

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 1, June 2024, pp. 75-91
Original Research

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir/

پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۱، نیمهٔ اول ۱۴۰۳، ص. ۹۱-۷۵
نوع مقاله: پژوهشی

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.85616.1076

مطالعه اثر دور آبیاری و مقادیر زئولیت بر شاخص‌های رشد و عملکرد لوبیا سفید (*Phaseolus lanatus* L.)

رضا رضوانی[1]*، محمد کافی[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۸

چکیده

یکی از رویکردهای جدید در مدیریت منابع آب و خاک؛ استفاده از زئولیت به‌عنوان عامل حفظ رطوبت خاک و افزایش راندمان آب آبیاری است. بدین منظور آزمایشی برای بررسی اثر دور آبیاری و مقادیر مختلف زئولیت بر شاخص‌های رشد و عملکرد رقم پاک لوبیا سفید (*Phaseolus lanatus* L.)، به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای در ۲۰ کیلومتری شرق شهرستان بجنورد در سال زراعی ۰۲-۱۴۰۱ انجام شد. تیمارها شامل دور آبیاری ۷، ۱۰ و ۱۳ روز به‌عنوان عامل اصلی و کاربرد سه سطح زئولیت در خاک (صفر، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) به‌عنوان عامل فرعی بودند. نتایج نشان داد که کمترین ارتفاع بوته در سطوح آبیاری در تیمار بدون زئولیت مشاهده شد. کاربرد ۱۰ تن در هکتار زئولیت، تعداد گره در بوته نسبت به سطح عدم مصرف زئولیت، افزایش معنی‌دار ۱۸/۱۵ درصد داشت. بالاترین سطح مصرف زئولیت سبب افزایش ۱۳/۸۸ درصد وزن ۱۰۰ دانه نسبت به عدم مصرف زئولیت شد. بیشترین عملکرد دانه (۴۶۵۱/۵ کیلوگرم در هکتار) در دور آبیاری هفت روز و کاربرد ۱۰ تن در هکتار زئولیت مشاهده شد. کمترین نشت الکترولیت مربوط به دورهای آبیاری ۱۰ و ۷ روز و کاربرد ۱۰ تن در هکتار زئولیت به‌ترتیب به‌میزان ۱۴/۸ و ۱۲/۳۴ درصد بود. با کاهش فاصله آبیاری به ۱۰ و ۷ روز مشاهده شد که با افزایش مصرف زئولیت، شاخص برداشت افزایش یافت و در این بین، بیشترین شاخص مربوط به دور آبیاری هفت روز و مصرف زئولیت ۱۰ تن در هکتار به‌میزان ۳۵/۵ درصد بود. به‌طور کلی، می‌توان گفت که کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار به‌ویژه تحت اثر دور آبیاری هفت روز، می‌تواند منجر به تولید حداکثر عملکرد و ویژگی‌های رشدی لوبیا سفید گردد.

واژه‌های کلیدی: اصلاح خاک، پرولین، حبوبات، سوپرجاذب، نشت الکترولیت

مقدمه

حبوبات پس از غلات، دومین منبع مهم غذایی بشر هستند. این گیاهان متعلق به خانواده بقولات (Fabaceae) و زیر خانواده پروانه‌آسا (*Papilionoideae*) می‌باشند. حبوبات از مهم‌ترین منابع خوراکی هستند و با داشتن میزان مناسبی از پروتئین می‌توانند جایگزین پروتئین حیوانی در رژیم غذایی انسان و به‌ویژه اقشار کم درآمد شوند (Majnoon Hosseini, 2008). لوبیا به شرایط آب و خاک و کیفیت آن‌ها حساس بوده و عملکرد آن حتی در دوره‌های کوتاه مدت تنش صدمه می‌بیند (Keshavarznia et al., 2013). برنامه‌ریزی برای حفظ و بهره‌برداری بهینه از منابع آبی، نیازمند به‌کارگیری تمهیدات خاص خود است. اعمال مدیریت صحیح، به‌کارگیری فناوری‌های پیشرفته به‌منظور حفظ ذخیره رطوبت و افزایش ظرفیت نگه‌داری آب خاک، از جمله اقدامات مؤثر برای افزایش راندمان آبیاری و در نتیجه، بهبود بهره‌وری از منابع محدود آب است. کم آبیاری یک راهکار مطلوب برای تولید محصول در شرایط خشکی است. به‌طوری‌که در این روش، عملکرد گیاه آگاهانه کاهش داده می‌شود تا کاهش محصول در واحد سطح با افزایش سطح زیر کشت جبران گردد، امّا باید دانست که کاهش کاربرد آب در تولید محصول، اثر منفی بر عملکرد گیاه دارد. در تحقیقی، عمادی و همکاران (Emadi et al., 2013) اعلام نمودند که بیشترین و کمترین تعداد دانه در نیام لوبیا، به‌ترتیب از تیمار آبیاری معمولی و تیمار تنش خشکی در مرحله زایشی به‌دست آمد. دشتکی و همکاران (Dashtaki et al., 2016) در بررسی اثر تنش رطوبتی بر ۳۳ ژنوتیپ لوبیا بیان داشتند که ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر عملکرد دانه،

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: reza.rezvani@mail.um.ac.ir)

وزن ۱۰۰ دانه، تعداد دانه در نیام، تعداد نیام در بوته، روز تا مرحله رسیدگی، اندازه بذر در شرایط تنش و بدون تنش تفاوت معنی‌داری با هم داشتند.

یکی از رویکردهای جدید در مدیریت منابع آب و خاک، استفاده از زئولیت به‌عنوان عامل حفظ رطوبت خاک و افزایش راندمان آب آبیاری است (Yari et al., 2013) که به‌ویژه در مقادیر بالا، به‌دلیل خاصیت این مواد در نگه‌داری طولانی‌مدت رطوبت در محیط توسعه ریشه خصوصاً در خاک‌های سبک و شرایط نامناسب خاک، امکان رشد رویشی بیشتر و توسعه سطح برگ برای گیاه فراهم می‌کند. با توجه به رابطه مستقیمی که بین شاخص توسعه برگ و توان فتوسنتزی گیاه وجود دارد، می‌توان انتظار داشت که مصرف زئولیت با تأمین آب و مواد مغذی مورد نیاز گیاه موجب افزایش عملکرد گیاه شود (Yari et al., 2013). جذب انتخابی و آزادسازی کنترل‌شده عناصر غذایی از زئولیت موجب شده که این مواد به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک، از طریق افزایش فراهمی طولانی‌مدت آب به بهبود رشد گیاه کمک کنند (Habib Porkashefi et al., 2017). زمانی‌نوری و همکاران (Zamani Nouri et al., 2014) با کاربرد زئولیت در لوبیا قرمز نشان دادند که کاربرد ۳۰ تن در هکتار زئولیت سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا شده و بیشترین اثر را بر ارتفاع بوته، وزن خشک بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه درغلاف، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد دانه و میزان پروتئین دانه داشت. حبیب‌پور کاشفی و همکاران (Habib Porkashefi et al., 2017) گزارش کردند که در بین سطوح کاربرد زئولیت، بیش‌ترین و کمترین عملکرد دانه لوبیا به‌ترتیب مربوط به کاربرد ۱۰ تن در هکتار زئولیت و عدم مصرف زئولیت بود. قشنگ میانج و همکاران (Ghashang Mianch et al., 2015) با بررسی اثر زئولیت بر عملکرد ماش گزارش کردند که اثر زئولیت بر عملکرد دانه معنی‌دار بود و بیش‌ترین عملکرد دانه ماش با کاربرد بالاترین سطح زئولیت (۱۵ تن در هکتار) به دست آمد. از آنجا که یکی از عامل‌های مهم جهت دستیابی به حداکثر پتانسیل عملکرد در حبوبات به‌خصوص لوبیا، تامین آب کافی و در دسترس گیاه است، هدف از اجرای این طرح، تعیین اثر دور آبیاری و مقادیر زئولیت بر شاخص‌های رشد و عملکرد لوبیا سفید (*Phaseolus lanatus* L.) (رقم پاک) است تا با انتخاب دور آبیاری و مقدار مناسب زئولیت، بتوان به‌سوی افزایش عملکرد کمّی و کیفی لوبیا سفید و تولید پایدار آن گام برداشت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌منظور بررسی اثر دور آبیاری و مقادیر زئولیت بر لوبیای سفید رقم پاک، به‌صورت اسپیلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای در ۲۰ کیلومتری شرق شهرستان بجنورد (اراضی گرمخان) استان خراسان شمالی با طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و با ارتفاع ۹۳۵ متر از سطح دریا، در سال زراعی ۰۲- ۱۴۰۱ اجراء شد. قبل از اجرای طرح، از مزرعه، پنج نمونه خاک از نقاط مختلف زمین از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه شد که پس از ادغام نمونه‌های مربوط و انتقال به آزمایشگاه خاکشناسی، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و آب محل آزمایش تعیین گردید (جدول ۱). آب آبیاری از طریق چاه موجود در اراضی کشاورزی تأمین و از طریق سیستم لوله-کشی به داخل مزرعه انتقال یافت.

جدول ۱- مشخصات خاک و آب مورد استفاده قبل از اجرای آزمایش

Table 1- Soil and water characteristics of the area before the experiment

خاک Soil									
بافت Texture	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	پتاسیم K (ppm)	فسفر P (ppm)	نیتروژن N (%)	کربن آلی O.C (%)	هدایت الکتریکی EC (dS.m^{-2})	اسیدیته pH
لومی Loam	26	50	24	225	3.60	0.056	0.757	1.26	7.87

آب Water					
کلیسم + منیزیم Ca + Mg (g.l^{-1})	سدیم Na (g.l^{-1})	بی کربنات HCO_3 (g.l^{-1})	هدایت الکتریکی EC (mS.cm^{-1})	اسیدیته pH	نسبت جذب سدیم S. A. R
0.022	0.014	0.015	1076	7.33	1.11

برای آماده‌سازی خاک در پاییز سال قبل با استفاده از گاوآهن برگردان‌دار زمین شخم و در بهار پس از اعمال دو مرحله دیسک عمود بر هم جهت کشت آماده شد. بذور رقم پاک لوبیا سفید از ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان بجنورد تهیه شد. رقم لوبیای پاک معرفی شده از طریق گزینش نسل‌های در حال تفکیک مواد اصلاحی ارسالی از CIAT با کلاس تجارتی Navy، دارای ویژگی‌های دانه سهمی شکل و فرم بوته ایستاده و رشد نامحدود (تیپ ۲)، متوسط ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر، متوسط دوره رشد و نمو ۹۶ روز، متوسط وزن ۱۰۰ دانه ۲۸ گرم، مقاوم به سه ویروس مهم لوبیا BYMV،BCMV و CMV، بازارپسندی عالی، مناسب برای برداشت مکانیزه، تحمل در برابر خشکی و مناسب برای کاشت در اقلیم‌های معتدل و سرد ایران می‌باشد.

تیمارهای آزمایش شامل دور آبیاری (۷، ۱۰ و ۱۳ روز یک بار) در کرت‌های اصلی و مصرف زئولیت (صفر ، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) در کرت‌های فرعی بودند. کرت‌ها با ابعداد ۴ × ۳ متر آماده شد و زئولیت به‌میزان مد نظر، قبل از کاشت در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک در کرت‌ها پخش شدند. بذرها قبل از کاشت با قارچ‌کش بنومیل ضدعفونی شدند بذرها در اول خرداد ماه سال ۱۴۰۲ به‌روش کاشت مسطح به‌صورت تک دانه‌کاری در عمق پنج تا هشت سانتی‌متری کاشته شدند. برای رسیدن به تراکم مناسب (۱۰ بوته در مترمربع) ، پس از رسیدن به مرحله دو تا چهار برگی گیاه، عملیات تنک کردن انجام گرفت. فاصله بوته‌ها روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله کرت‌های فرعی از هم یک متر و فاصله بین کرت‌های اصلی دو متر در نظر گرفته شد و برای اطمینان از ممانعت از نشت آب به سایر کرت‌ها، پشته ایجاد شد. میانگین حداکثر و حداقل دمای متوسط در زمان کاشت به‌ترتیب ۲۹ و ۱۴ درجه سانتی‌گراد بود. دور آبیاری از مرحله دو تا چهار برگی شروع و تا ۲۰ روز قبل از برداشت، بسته به تیمارهای مورد نظر ۷، ۱۰ و ۱۳ روز یک بار در کرت‌های اصلی ادامه یافت. تعیین نیاز آبیاری با استفاده از تشت تبخیر کلاس A تعبیه شده در مزرعه انجام شد. ابتدا تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از مقادیر تبخیر از تشت و با استفاده از معادله ۱ برآورد شد. سپس با استفاده از ضرایب گیاهی ارائه شده برای لوبیا توسط فائو و بر اساس شرایط اقلیمی منطقه، برای مراحل ابتدایی، میانی و انتهایی رشد به‌ترتیب ۰/۴، ۱/۱۵ و ۰/۳۵ تعیین شده، تبخیر و تعرق لوبیا سفید طبق معادله ۲ محاسبه شد (Nasrollahi et al., 2019). با توجه به تیمارهای آبیاری و راندمان آبیاری ۹۵ درصد، مقدار آب مورد نیاز گیاه محاسبه شد. سپس به‌وسیله لوله انتقال و توسط کنتور حجمی در اختیار گیاه قرار گرفت. در طول دوره رشد، ۱۰ نوبت آبیاری انجام شد که در مجموع عمق آبیاری برای تیمارهای آبیاری ۷، ۱۰ و ۱۳ روز، به‌ترتیب ۶۵۲/۵، ۵۷۷/۴ و ۳۹۷/۷ میلی‌متر برآورد گردید

معادله (۱)
$$ET_0 = K_p \times E_p$$

که در آن، ET_0: تبخیر و تعرق گیاه مرجع، K_p =۰/۸: ضریب تشت تبخیر و Ep: میزان تبخیر از تشت تبخیر است.

معادله (۲)
$$ET_c = K_c \times ET_0$$

که در آن، ET_c: تبخیر و تعرق گیاه لوبیا سفید، Kc: ضریب گیاهی لوبیا سفید است.

در طول دوره رشد و نمو لوبیا سفید، کلیه مراحل داشت شامل وجین علف‌های هرز، سله‌شکنی، مبارزه با آفات و بیماری‌ها برای کرت‌های آزمایش به‌صورت یکسان صورت گرفت. برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیولوژیکی در مرحله گل‌دهی، از هر کدام از تیمارهای آزمایش از برگ‌های جوان کاملاً توسعه‌یافته نمونه‌برداری انجام شد. در زمان رسیدگی فیزیولوژیک و پس از برداشت نهایی؛ ارتفاع بوته، تعداد غلاف و دانه در بوته، وزن ۱۰۰ دانه عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. بدین منظور، از مساحت دو مترمربع از هر کرت پس از حذف اثر حاشیه، تعداد ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و ارتفاع و تعداد غلاف آن‌ها شمرده شد و برای اندازه‌گیری تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه‌های ۱۰ غلاف مذکور شمارش گردید و سپس برای اندازه‌گیری وزن ۱۰۰ دانه، وزن بذور ۱۰ بوته برداشت شده از هر کرت به‌وسیله ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد. برای محاسبه عملکرد دانه خشک، برداشت از نمونه‌های انتخابی به‌صورت کف‌بر از سطح زمین انجام شد. سپس نمونه-ها در آون به‌مدت ۴۸ ساعت با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و سپس وزن دانه‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت یک هزارم گرم تعیین گردید. اعداد به‌دست‌آمده به کیلوگرم در هکتار تبدیل و به‌عنوان عملکرد زیستی مشخص گردید. همچنین از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد زیستی، شاخص برداشت محاسبه شد (معادله ۳) که واحد آن به‌صورت درصد ثبت گردید.

معادله (۳)
$$Hi = (\frac{Ey}{By}) \times 100$$

که در آن، Hi: شاخص برداشت، Ey: عملکـرد دانـه و By: عملکرد زیستی است.

جهت سنجش میزان نشـت الکترولیـت از روش سـایرام و همکاران (Sairam et al., 2002) استفاده شد. بر ایـن اسـاس، دو گروه نمونه آماده شد. در هر گروه ۰/۱ گرم از بافت سـالم و تازه برگ گیاه در ۱۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه شده قرار داده شد. لوله‌های آزمایش گروه اول به‌مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شـدند. سـپس میـزان هدایت الکتریکی اولیـه نمونـه انـدازه‌گیـری شـد و گـروه دوم به‌مدت ۱۰ دقیقـه در حمـام آب گـرم بـا دمـای ۱۰۰ درجـه سانتی‌گراد قرار داده شدند و میـزان هـدایت الکتریکـی ثانویـه نمونه اندازه‌گیری شد. درجه نشت الکترولیت بر اساس معادلـه ۴ ثبت گردید.

معادله (۴)
$$El = 1\text{-}(\frac{C_1}{C_2}) \times 100$$

که در آن، El: درجه نشت الکترولیت، C_1: میـزان هـدایت الکتریکی اولیه نمونـه و C_2: میـزان هـدایت الکتریکـی ثانویـه نمونه است.

در زمان پر شدن دانه لوبیا سـفید، از نمونـه‌هـای آخـرین برگ‌های سبز لوبیا برای برآورد پرولین استفاده شد. ۰/۰۲ گرم از بافت فریز شده برگ در ۱۰ میلی‌لیتـر محلـول سـه درصـد سولفوسالیسلیک اسید همگن و عصاره حاصـل بـه‌مـدت پـنج دقیقـه در ۱۰۰۰۰ گـرم سـانتریفیوژ قـرار داده شـد. سـپس مقادیری از مایع رویی با نین هیـدرین اسـید و اسـتیک اسـید خالص مخلوط و بـه‌مـدت یـک سـاعت در دمـای ۱۰۰ درجـه سانتی‌گراد در بن‌مـاری قـرار گرفـت. بلافاصله پـس از توقـف واکنش در آب یخ با اضافه کـردن چهـار میلـی‌لیتـر تولـوئن و انتقال پرولین به فاز رنگی تولوئنی، جذب آن‌ها در طـول مـوج ۵۲۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (UNICO, 2000, Germany) تعیـین شـد (Bates et al., 1973). در نهایـت، بـا رسـم منحنـی اسـتاندارد از پـرولین، مقـدار آن بـر اسـاس میکرومول بر گرم وزن خشک برگ ثبت شد. درصـد پـروتئین دانه‌ها توسط روش کجلدال و با اسـتفاده از دسـتگاه کجلـدال ساخت شرکت سوئد انـدازه‌گیـری شـد. در ایـن تکنیـک سـه مرحله هضم ماده غذایی، تقطیر و تیتراسـیون انجـام گرفـت و نیتـروژن پروتئینـی کـل سـنجیده شـد (Magomya et al., 2014). تجزیه و تحلیل داده‌ها با اسـتفاده از نـرم‌افـزار آمـاری SAS 9.4 و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام شد. مقایسه میانگین‌هـا بـا اسـتفاده از آزمـون حـداقل اخـتلاف معنـی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد محاسبه شد.

نتایج و بحث

پرولین

نتایج نشان داد که اثر دور آبیاری و مصرف زئولیـت در سـطح یک درصد بر میزان پـرولین بـرگ معنـی‌دار بـود (جـدول ۲). مقایسـه میـانگین‌هـا نشـان داد کـه در اثـر مصـرف زئولیـت، بیشترین میزان پرولین مربوط به سطح عـدم مصـرف زئولیـت به‌میزان ۱۷/۹۶ میکرومول بر گرم وزن خشک بود و با افزایش در هر سطح از زئولیت، میزان پرولین برگ کاهش معنـی‌داری داشت که این امر نشـان‌دهنـده جـذب آب زئولیـت و کـاهش تنش موجود در محیط رشد گیاه بوده است. افزودن ۱۰ تن در هکتار زئولیت، سبب کاهش ۴۱/۵ درصدی میزان پرولین برگ نسبت به عدم مصرف زئولیت شد (جدول ۳). همچنین، در اثر دور آبیاری مشاهده شد که زمانی که دور آبیـاری از ۷ روز بـه ۱۰ روز افزایش یافت، تغییر معنی‌داری در میزان پرولین بـرگ مشاهده نگردید، ولی با افزایش دور آبیاری بـه ۱۳ روز، میـزان پرولین بـرگ بیشـتر شـد و ایـن سـطح سـبب افـزایش ۱۴/۱ درصدی پرولین نسبت به دور آبیاری هفت روز شد (جدول ۳). در شرایط تنش خشـکی به‌منظـور تنظـیم پتانسـیل اسـمزی در گیاهــان ســنتز ترکیبـاتی ماننـد قنـد محلـول و پـرولین افـزایش می‌یابـد. البته پـرولین در تثبیـت آنـزیم‌هــا، جهـت ممانعت از اختلال یکپارچگی غشاء و مقابله با گونـه اکســیژن نیـــز فعـــال مـی‌شـــود (Rejeb et al., 2014). زاده‌بـاقری و همکـاران (Zadehbagheri et al., 2012) در تحقیقـی مشـابه، علت تجمع پرولین در برگ لوبیای تحت تـنش خشکی را بــه افـزایش میـزان ســنتز پـــرولین بــه‌وســیله پیــرولین- ۵- کربوکسیلاز سـنتتاز، کـاهش فعالیـت آنـزیم پـرولین اکسیداز و اثر تنظیمی اسـید آبسـزیک بـر متابولیسـم پـرولین نسـبت دادند.

پروتئین دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر مصرف زئولیت در سطح یک درصد و دور آبیاری در سطح پنج درصد بـر میـزان پروتئین دانه اثر معنی‌داری داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که با مصرف زئولیت در خاک، پروتئین دانـه نسبت به عدم مصرف آن افزایش یافت، ولی تفاوت معنی‌داری در میزان پروتئین دانه بین سطح ۵ و ۱۰ تن در هکتار زئولیت مشاهده نشد. مصرف ۱۰ تن در هکتار زئولیت، سـبب افـزایش ۲۱ درصد پروتئین دانه نسبت به عدم مصرف زئولیت در لوبیـا سفید شد. همچنین در تیمار دور آبیاری مشاهده شـد کـه بـا افزایش دور آبیاری از ۷ به ۱۰ روز، هر چنـد میـزان پـروتئین

دانه افزایش یافت، ولی با سطح آبیاری هفت روز تفاوت معنی‌داری نداشت و زمانی که دور آبیاری به ۱۳ روز رسید، میزان پروتئین دانه ۶/۰۸ درصد نسبت به دور آبیاری هفت روز، افزایش معنی‌داری داشت (جدول ۳). در این تحقیق مشخص شد که دلیل افزایش میزان پروتئین در شرایط تنش خشکی به این خاطر بود که عملکرد دانه توسط تعداد دانه در بوته تعیین شد و با افزایش شدت تنش خشکی، میزان تک دانه در بوته کاهش یافت، در نهایت، با کمتر شدن تعداد دانه، پروتئین بیشتری به دانه اختصاص داده شد. عمادی و همکاران (Emadi et al., 2013) اظهار نمودند که در شرایط تنش خشکی، جذب و تثبیت کربن‌دی اکسید براثر بسته شدن روزنه‌ها کاهش می‌یابد. بنابراین، میزان کل مواد پرورده برای پرشدن دانه کاهش می‌یابد، درحالی‌که انتقال مجدد نیتروژن از برگ‌ها به دانه کاهش نمی‌یابد و این امر سبب افزایش درصد پروتئین دانه می‌شود.

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل دور آبیاری و زئولیت در سطح یک درصد ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). در اثر متقابل دور آبیاری و زئولیت مشاهده شد که ارتفاع با افزایش میزان زئولیت در دورهای آبیاری ۷ و ۱۳ روز، افزایش یافت. کمترین ارتفاع بوته در سطوح آبیاری زمانی بود که زئولیت استفاده نشده بود. به نظر می‌رسد که زئولیت نقش بیشتری در افزایش ارتفاع بوته نسبت به دور آبیاری داشت. همچنین، بیشترین ارتفاع بوته در این آزمایش مربوط به بالاترین میزان مصرف زئولیت در دور آبیاری هفت روز (۸۶ سانتی‌متر) بود (شکل ۱). تنش خشکی باعث کاهش تقسیمات سلولی می‌شود و در نتیجه، گیاه برای تحمل تنش خشکی، رشد رویشی خود را کاهش دهد و در نتیجه، ارتفاع بوته کاهش می‌یابد. تنش خشکی ناشی از کمبود آب، سبب کاهش رشد قسمت‌های مختلف بوته از جمله ساقه می‌گردد. با افزایش مصرف زئولیت و قابلیت جذب و نگهداری آب در آن در شرایط تنش خشکی، زئولیت می‌تواند به‌عنوان یک جاذب به‌تدریج آب و مواد غذایی محلول در آب را در اختیار گیاه قرار دهد و سبب افزایش ارتفاع بوته شود (Khashei Siuki et al., 2020). زمانی نوری و همکاران (Zamani Nouri et al., 2014) با کاربرد زئولیت در لوبیا قرمز نشان دادند که کاربرد ۳۰ تن در هکتار زئولیت، بیشترین اثر بر ارتفاع بوته را داشت. تأثیر کاربرد زئولیت طبیعی بر ارتفاع بوته، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب ذرت معنی‌دار بود و موجب بهبود ویژگی‌های رشدی در این گیاه شد (Ahmadi et al., 2014).

تعداد گره در ساقه اصلی

نتایج به‌دست آمده از داده‌های آزمایش نشان داد که تعداد گره تحت اثر مصرف زئولیت و دور آبیاری قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش مصرف زئولیت به‌میزان پنج تن در هکتار، ویژگی مذکور نسبت به عدم مصرف زئولیت افزایش معنی‌داری نداشت، ولی در سطح زئولیت ۱۰ تن در هکتار، نسبت به سطح عدم مصرف زئولیت، تعداد گره در بوته، ۱۸/۱۵ درصد افزایش یافت. یکی از دلایل افزایش ارتفاع بوته را می‌توان به افزایش تعداد گره مرتبط دانست که با افزایش مصرف زئولیت در خاک، تعداد گره در بوته لوبیا سفید افزایش یافته که سبب رشد بیشتر بوته گردیده است. همچنین، با افزایش فاصله آبیاری، تعداد گره کاهش یافت و بین سطوح آبیاری، تفاوت معنی‌داری در ویژگی مذکور مشاهده شد (جدول ۳). احمدی آذر و همکاران (Ahmadi Azar et al., 2015) در تحقیقی که روی گیاه پنیرک (*Malva sylvestris*) داشتند، بیان کردند که در سطح شاهد آبیاری (۱۰۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی) و هشت گرم در هر کیلوگرم خاک زئولیت، بیشترین تعداد میان‌گره و در تنش‌خشکی شدید (۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی) و عدم وجود زئولیت، کمترین تعداد میان‌گره مشاهده شد؛ که علت آن را می‌توان در توسعه ریشه برای جستجوی آب در رطوبت پایین‌تر و در نتیجه، کاهش رشد بخش هوایی دانست. مهرابی و احسان‌زاده (Mehrabi & Ehsanzadeh, 2011) در مطالعه‌ای با بررسی ویژگی‌های فیزیولوژیک و عملکرد چهار رقم کنجد تحت تنش کم‌آبی، اظهار داشتند که اثر رژیم آبیاری بر تعداد گره و ارتفاع بوته معنی‌دار بود. همچنین بیان کردند که دلیل کاهش ارتفاع بوته را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که افزایش ارتفاع بوته ناشی از افزایش تعداد گره و فاصله میان گره‌ها در بوته است.

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر دور آبیاری و زئولیت بر ویژگی‌های رشدی و عملکردی لوبیا سفید

Table 2- Variance analysis of irrigation intervals and zeolite on growth and yield performance of Navy bean

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	پرولین Proline	پروتئین دانه Seed protein	ارتفاع بوته Plant height	تعداد گره Number of nodes	وزن خشک بوته Plant dry weight	طول دوره رشد Length of growth period
بلوک Block	2	2.323^{ns}	2.553^{ns}	12.03^{ns}	3.37^{ns}	21.36^{ns}	12.44^{ns}
زئولیت Zeolite	2	125.9**	36.38**	678.03**	28.48*	119.3**	4.111ns
دور آبیاری Irrigation	2	8.186**	17.18*	72.14*	97.14**	122.31**	96.44**
دور آبیاری × زئولیت Zeolite × irrigation	4	0.723^{ns}	0.892^{ns}	93.70**	2.87ns	1.815ns	0.555ns
خطا Error	16	0.878	3.93	14.57	4.78	10.79	8.77
ضریب تغییرات (٪) C.V (%)	-	6.65	9.40	5.34	12.28	9.06	3.50

ns، * و**: به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: are non-significant, significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر دور آبیاری و زئولیت بر ویژگی‌های رشدی و عملکردی لوبیا سفید

Table 2- Variance analysis of irrigation intervals and zeolite on growth and yield performance of Navy bean, continued

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant	وزن ۱۰۰ دانه 100-grain weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد زیستی Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	نشت الکترولیت Electrolyte leakage
بلوک Block	2	144.5^{ns}	5.25^{ns}	0.259^{ns}	572.2^{ns}	3333433^{ns}	15.28^{ns}	0.607^{ns}
زئولیت Zeolite	2	36482**	354.8**	30.48*	3112586**	37731103**	168.12**	66.49**
دور آبیاری Irrigation	2	40285**	640.3**	43.81*	8245139**	12943719**	105.14**	66.58**
دور آبیاری × زئولیت Irrigation × zeolite	4	695.2ns	49.82*	1.592^{ns}	391568**	134005^{ns}	56.23**	7.002*
خطا Error	16	1253	13.55	8.13	13200	1534849	4.50	2.08
ضریب تغییرات (٪) C.V (%)	-	11.54	9.52	11.54	3.75	10.47	8.92	8.43

ns، * و**: به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

ns, * and **: are non-significant, significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

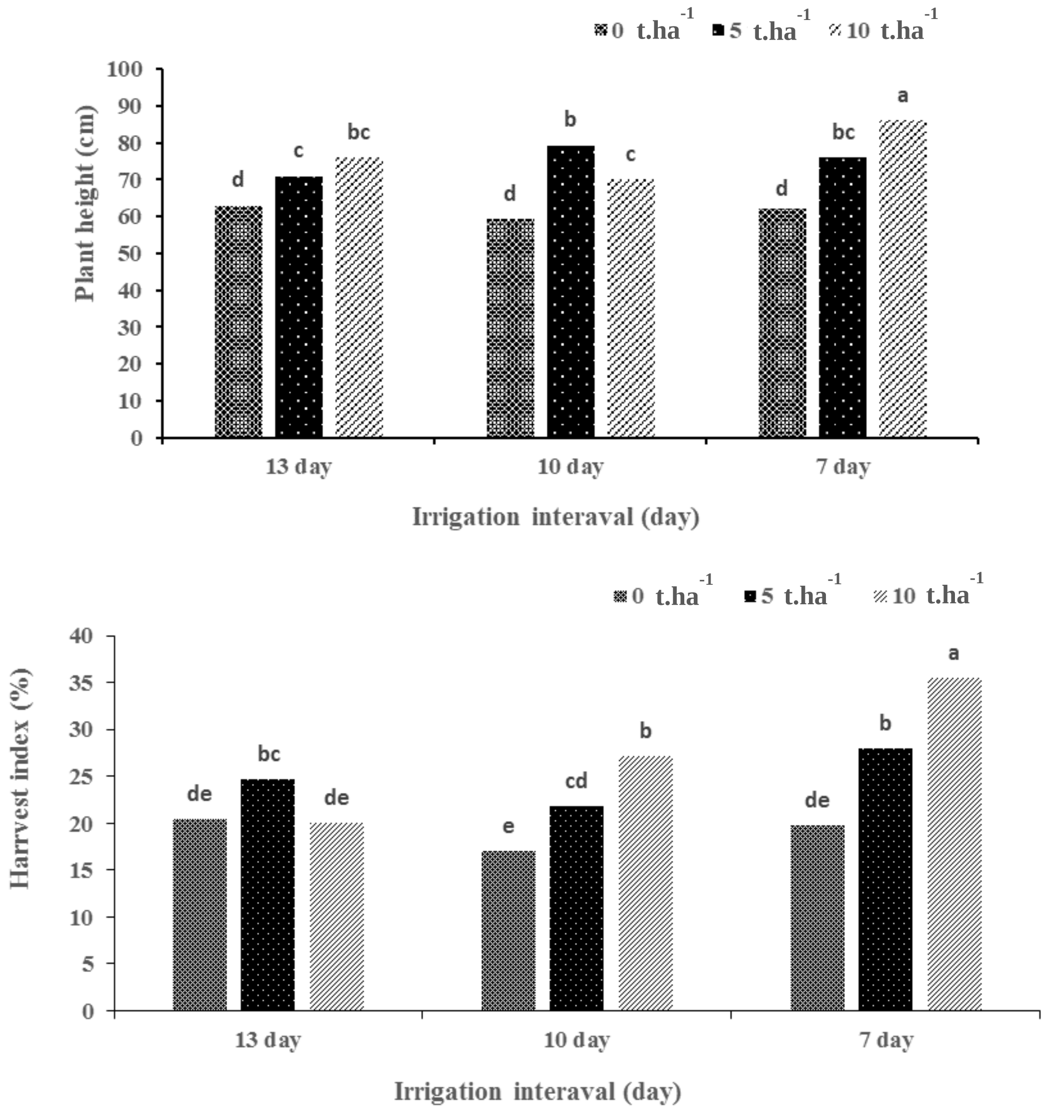
جدول ۳- مقایسه میانگین اثر زئولیت و دور آبیاری بر ویژگی‌های رشدی و عملکردی لوبیا سفید

Table 3- Mean comparison of the effect of irrigation intervals and zeolite on growth and yield performance of Navy beans

تیمار Treatment	پرولین (میکرومول بر گرم وزن خشک) Prolin (μmol.g^{-1} dw)	پروتئین دانه (درصد) Seed protein (%)	تعداد گره Number of nodes	وزن خشک بوته (گرم در بوته) Plant dry weight (g)	طول دوره رشد (روز) Length of growth period (day)	تعداد غلاف در بوته number of pods per plant	وزن ۱۰۰ دانه (گرم) 100-seed weight (g)	عملکرد زیستی (کیلوگرم بر هکتار) Biological yield (kg.ha^{-1})
زئولیت (تن در هکتار) **Zeolite (t.ha^{-1})**								
0	17.96^{a*}	18.88^{b}	16.00^{b}	32.02^{b}	84.77^{a}	233.2^{b}	22.77^{b}	9536.1^{b}
5	13.76^{b}	21.53^{a}	17.88^{ab}	38.14^{a}	84.88^{a}	341.4^{a}	24.88^{ab}	12475.6^{a}
10	10.50^{c}	22.83^{a}	19.55^{a}	38.50^{a}	83.66^{a}	345.4^{a}	26.44^{a}	13475.0^{a}
دور آبیاری (روز) **Irrigation interval (day)**								
7	13.25^{b}	22.50^{a}	21.22^{a}	38.86^{a}	88.22^{a}	377.4^{a}	26.44^{a}	12685.6^{a}
10	13.85^{b}	21.01^{ab}	17.55^{b}	37.78^{a}	82.44^{b}	298.2^{b}	25.44^{a}	12342.8^{a}
13	15.12^{a}	23.87^{c}	14.66^{c}	32.01^{b}	82.66^{b}	244.4^{c}	22.22^{b}	10458.3^{b}

* میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک در هر ستون هستند، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

* Averages that have common letters in each column are not significantly different based on the LSD test at the 5% probability level



شکل ۱- اثر متقابل دور آبیاری و زئولیت بر ارتفاع لوبیا سفید

Fig. 1- Interaction effect of irrigation interval and zeolite on plant height of Navy bean

وزن خشک بوته

نتایج نشان داد که اثر زئولیت و دور آبیاری در سطح یک درصد بر وزن خشک بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌های به‌دست آمده نشان داد که با افزایش فاصله آبیاری تا ۱۰ روز، سبب تغییر معنی‌داری بر وزن خشک بوته نشد، ولی سطح ۱۳ روز موجب کاهش معنی‌دار وزن خشک بوته گردید؛ به‌نحوی که ویژگی مذکور در این سطح ۱۷/۶۰ درصد نسبت به آبیاری هفت روز کاهش داشت (جدول ۲). در بین سطوح زئولیت مورد بررسی در این تحقیق، با افزایش زئولیت به‌میزان پنج تن در هکتار، بیشترین وزن خشک بوته مشاهده شد و تفاوت معنی‌داری با سطح ۱۰ تن در هکتار زئولیت نداشت و در این بین، کمترین وزن خشک به‌میزان ۳۲/۰۲ گرم در بوته مربوط به سطح عدم مصرف زئولیت بود (جدول ۳). طبق نتایج پژوهش ولدآبادی (Valadabadi, 2013)، مصرف زئولیت اثر معنی‌داری بر وزن خشک برگ و بوته در واحد سطح، تعداد شاخه فرعی و نسبت وزن خشک برگ و گل به ساقه گیاه مرزه در شرایط تنش خشکی داشت و زئولیت توانست اثرات سوء تنش خشکی را در این گیاه در حد معنی‌داری کاهش دهد. با بررسی خصوصیات زئولیت، به نظر می‌رسد که با بازماندن روزنه‌ها به‌مدت طولانی، موجب تثبیت

مناسب دی اکسید کربن شده و مانع کاهش شدید وزن خشک در بوته می‌شود (Li et al., 2014).

طول دوره رشدی

نتایج نشان داد که طول دوره رشدی تحت اثر مصرف زئولیت قرار نگرفت و فقط اثر دور آبیاری در سطح یک درصد بر ویژگی مذکور معنی‌دار بود (جدول ۲). در مقایسه میانگین اثر تیمارهای مورد بررسی با افزایش فاصله آبیاری، طول دوره رشدی گیاه کاهش یافت. همچنین، تفاوت معنی‌داری بین دور آبیاری ۱۰ و ۱۳ روز یافت نشد (جدول ۳).

تعداد غلاف در بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر کاربرد زئولیت و دور آبیاری در سطح یک درصد بر تعداد غلاف در بوته معنی‌دار بودند (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با مصرف زئولیت، تعداد غلاف در بوته افزایش یافت. مصرف ۱۰ تن در هکتار زئولیت، سبب افزایش ۳۲/۴ درصدی تعداد غلاف در بوته نسبت به عدم مصرف زئولیت شد. همچنین مشاهده شد که بین دورهای آبیاری مورد بررسی، دور آبیاری هفت روز دارای بیشترین تعداد غلاف در بوته بود و با افزایش فاصله آبیاری، میزان این ویژگی کاهش یافت. تعداد غلاف در بوته تحت اثر دور آبیاری هفت روز، ۳۵/۲ درصد بیشتر نسبت به دور آبیاری ۱۳ روز بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد که یکی از دلایل کاهش تعداد غلاف در بوته، ریزش گل و غلاف می‌باشد. زئولیت با استفاده از ساختار شبکه‌ای خود، جذب آب در محدوده ریشه را افزایش داده و از این طریق، بروز اختلال در فرآیندهای زیستی گیاه را کاهش می‌دهد. از این رو، در این تحقیق، این ماده معدنی باعث افزایش فرآیندهای زیستی گیاه شده و توانسته است تفاوت معنی‌داری را نسبت به شاهد به‌وجود بیاورد (Esmaeilzadeh et al., 2018). نتایج تحقیقی نشان داد که مصرف زئولیت، تعداد غلاف در بوته را در کلزا افزایش داد. به‌نحوی که بیشترین تعداد غلاف در بوته (۲۸ و ۲۷ غلاف) را به‌ترتیب به کاربرد ۱۵ و ۲۰ تن در هکتار زئولیت و کمترین این ویژگی در شاهد و ۱۰ تن در هکتار زئولیت مشاهده شد (Ghashang et al., 2015).

تعداد دانه در بوته

نتایج آزمایش نشان داد که تعداد دانه در بوته تحت اثر متقابل دور آبیاری و زئولیت در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها اثر متقابل دور آبیاری و زئولیت نشان داد که با افزایش میزان زئولیت در خاک، در دورهای آبیاری، تعداد دانه در بوته افزایش یافت. به‌نحوی که بیشترین میزان ویژگی مذکور در دورهای آبیاری ۷ و ۱۰ روز با بالاترین میزان زئولیت یعنی ۱۰ تن در هکتار بود. البته در دور آبیاری هفت روز، بین سطوح زئولیت ۵ و ۱۰ تن در هکتار، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲). اثر کم آبیاری در ارزن (*Panicum miliaceum*) بر عملکرد دانه و تعداد دانه در خوشه به‌طوری بود که آبیاری کامل، بیشترین تعداد دانه و عملکرد دانه را داشت، درحالی‌که بین سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (Shaukti Moqrabi et al., 2016). لی و همکاران (Li et al., 2014) در تحقیقی اعلام نمودند که سوپرجاذب از طریق تأمین آب و به دنبال آن برخی عناصر غذایی در مرحله بحرانی تشکیل دانه، باعث کاهش سقط جنین و در نتیجه، افزایش دانه‌های بارور ذرت شده است.

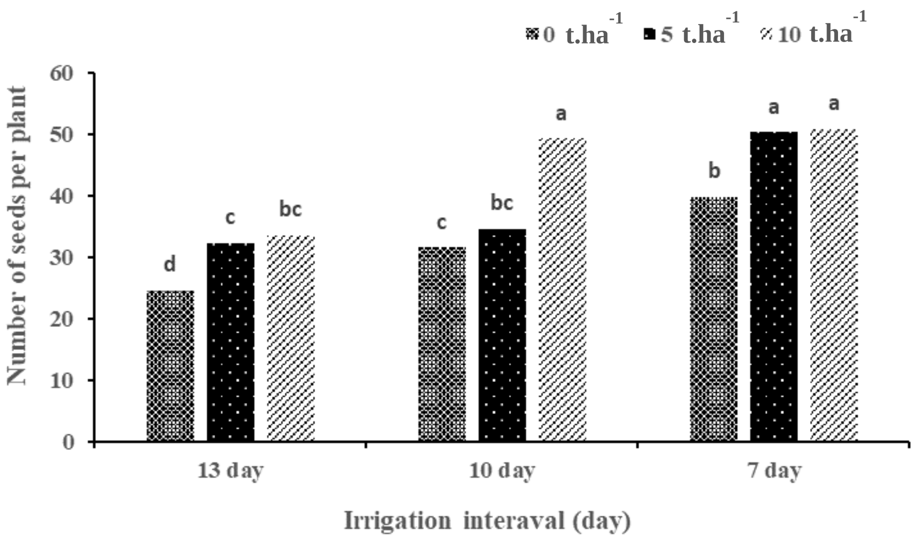
وزن ۱۰۰ دانه

نتایج حاصل از داده‌های آزمایش مؤید آن بود که اثر زئولیت و دور آبیاری در سطح پنج درصد بر وزن ۱۰۰ دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش میزان زئولیت، وزن ۱۰۰ دانه لوبیا سفید افزایش یافت و بیشترین میزان این ویژگی در سطح مصرف ۱۰ تن در هکتار زئولیت بود. بالاترین سطح مصرف زئولیت سبب افزایش ۱۳/۸۸ درصدی ویژگی مذکور نسبت به سطح عدم مصرف زئولیت شد. همچنین مشاهده شد که افزایش فاصله آبیاری تا سطح ۱۰ روز، اثر معنی‌داری بر کاهش وزن ۱۰۰ دانه نداشت و تفاوتی با دور آبیاری هفت روز مشاهده نشد، ولی دور آبیاری ۱۳ روز، سبب کاهش ۱۵/۹ درصدی وزن ۱۰۰ دانه نسبت به دور آبیاری هفت روز شد (جدول ۳). زئولیت با ممانعت از دست رفتن آب و افزایش دسترسی مواد غذایی در محدوده توسعه ریشه‌ها، سبب افزایش جذب آن‌ها توسط گیاه شده که می‌تواند منجر به بهبود ویژگی‌های زراعی و عملکردی گیاه شود. نتایج تحقیقی نشان داد که وزن هزار دانه ذرت و آفتابگردان در اثر مصرف زئولیت نسبت به عدم مصرف آن افزایش یافت (Gholamhosseini et Gharmani et al., 2010; al., 2008). وزن ۱۰۰ دانه از اجزای مهم عملکرد دانه در لوبیا است که به‌صورت ارثی کنترل می‌شود، ولی تحت تأثیر محیط نیز قرار می‌گیرد (Salehi, 2015). به‌طور کلی، می‌توان بیان کرد که افزایش تنش خشکی، موجب کاهش وزن دانه شده است که علت آن را می‌توان به تسریع پیری گیاه و کاهش ظرفیت فتوسنتزی آن مربوط دانست (Salehi, 2015).

خاقانی و همکاران (Khaghani et al., 2010). در مطالعه‌ای با بررسی ویژگی‌های کمّی و کیفی لوبیا سفید و لوبیا قرمز در شرایط تنش خشکی اعلام نمودند که وزن خشک بوته و وزن ۱۰۰ دانه در لوبیا سفید، کاهش بیشتری نسبت به سایر ویژگی‌های داشتند (Khaghani et al., 2010).

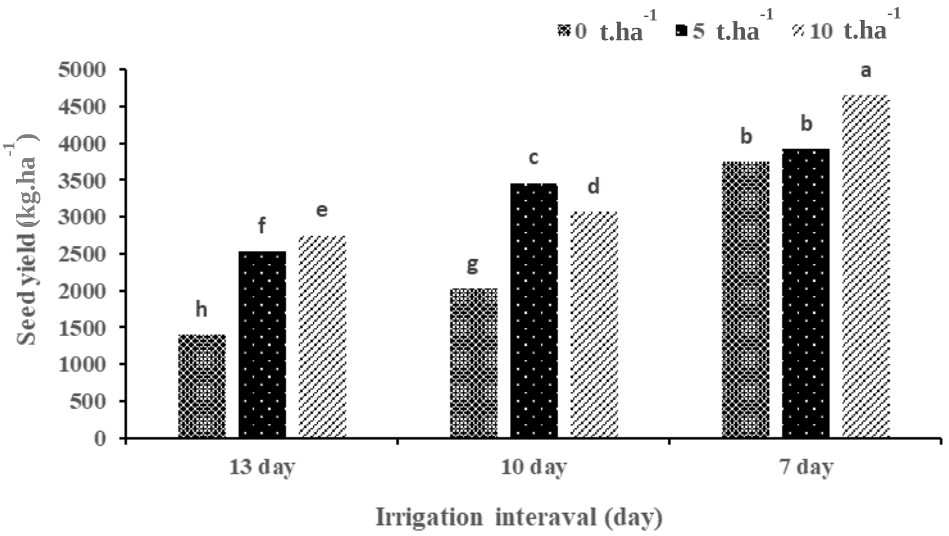
عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل آن‌ها در سطح یک درصد بر صفت عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش در هر سطح از مصرف زئولیت، عملکرد دانه افزایش و با افزایش دور آبیاری، میزان ویژگی مذکور کاهش یافت. بیشترین عملکرد دانه مربوط به اثر متقابل دور آبیاری هفت روز و مصرف ۱۰ تن در هکتار زئولیت (۴۶۵۱/۶ کیلوگرم در هکتار) و کمترین میزان این ویژگی مربوط به دور آبیاری ۱۳ روز و عدم مصرف زئولیت (۱۴۰۳/۶ کیلوگرم در هکتار) بود (شکل ۳). با توجه به این که عملکرد دانه، مهم‌ترین ویژگی اقتصادی لوبیا می‌باشد. پس می‌توان نتیجه گرفت که دور آبیاری هفت روز و مصرف ۱۰ تن در هکتار زئولیت، مناسب‌ترین سطوح برای لوبیا سفید رقم پاک می‌باشند. داودی و همکاران (Davoodi et al., 2018) اثر تنش خشکی را در سه سطح شاهد، متوسط و شدید روی انواع لوبیا مورد بررسی قرار دادند، آن‌ها گزارش کردند که بیشترین عملکرد دانه مربوط به لوبیا چیتی در شرایط شاهد و کمترین عملکرد دانه مربوط به لوبیا سفید در شرایط تنش شدید بود. در پژوهشی دیگر، قنبری و همکاران (Ghanbari et al., 2012) اعلام کردندکه کاهش عملکرد دانه لوبیا قرمز در شرایط نرمال و تنش خشکی نسبت به لوبیا سفید و چیتی بیشتر بود. این پژوهشگران کاهش عملکرد دانه لوبیا را ناشی از اثرات تنش خشکی بر هر یک از اجزای عملکرد مرتبط دانسته‌اند. تأثیر مثبت زئولیت بر حفظ رطوبت خاک و نگهداری مواد غذایی را می‌توان مهم‌ترین عامل تأثیرگذار زئولیت بر عملکرد دانست. جذب انتخابی و آزادسازی کنترل شده عناصر غذایی از زئولیت باعث می‌شود که در صورت انتخاب نوع صحیح زئولیت مصرفی، هنگامی که این مواد به‌عنوان اصلاح‌کننده به خاک اضافه می‌شود، از طریق افزایش فراهمی طولانی‌مدت آب و عناصر غذایی به بهبود رشد گیاه کمک می‌کند (Motaghi et al., 2019).



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل دور آبیاری و زئولیت بر تعداد دانه در بوته لوبیا سفید

Fig. 2- Mean comparison of the interaction effect of irrigation interval and zeolite on number of seeds per plant of Navy bean



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل دور آبیاری و زئولیت بر عملکرد دانه لوبیا سفید

Fig. 3- Mean comparison of interaction effect of irrigation intervals and zeolite on seed yield of Navy bean

عملکرد زیستی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر دور آبیاری و مصرف زئولیت در سطح یک درصد بر عملکرد زیستی لوبیا سفید معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش فاصله آبیاری، عملکرد زیستی کاهش یافت، ولی تفاوت معنی‌داری بین دور آبیاری ۷ و ۱۰ روز مشاهده نشد و کمترین میزان عملکرد زیستی در دور آبیاری ۱۳ روز (۱۰۴۵۸ کیلوگرم در هکتار) بود. در بین سطوح زئولیت مورد بررسی، سطح ۱۰ تن در هکتار بیشترین عملکرد زیستی را (۱۳۴۷۵ کیلوگرم در هکتار) داشت و نسبت به سطح عدم مصرف زئولیت، ۲۹/۲ درصد افزایش یافت. همچنین مشاهده شد که سطح ۵ و ۱۰ تن در هکتار زئولیت تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۳). هرگاه گیاهان در جذب آب مورد نیاز خود هیچ‌گونه محدودیتی نداشته باشند، رشد رویشی و تولید سطح سبز خود را افزایش می‌دهند و در نهایت، مقدار کربوهیدرات تولیدی توسط اندام‌های سبز گیاه افزایش زیادی خواهند یافت و عملکرد زیستی گیاه نیز به بالاترین مقدار خود خواهد رسید. امیری و همکاران (Amiri et al., 2016) در تحقیقی بیان نمودند که تنش خشکی کم آبیاری؛ موجب کاهش عملکرد اقتصادی، وزن هزار دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت گلرنگ شد. طبق نتایج میرزاخانی (Mirzakhani, 2017) در بین سطوح مختلف تنش محدودیت رطوبتی، بیشترین و کمترین عملکرد زیستی سنبله گندم با میانگین ۳۶/۵۱ و ۲۲/۸۲ گرم در بوته به‌ترتیب مربوط به شاهد (آبیاری کامل) و تیمار آبیاری براساس ۵۵ درصد نیاز آبی گیاه بود و در بین سطوح مختلف زئولیت، بیشترین و کمترین عملکرد زیستی سنبله به‌ترتیب مربوط به مصرف نه تن در هکتار و عدم مصرف زئولیت بود.

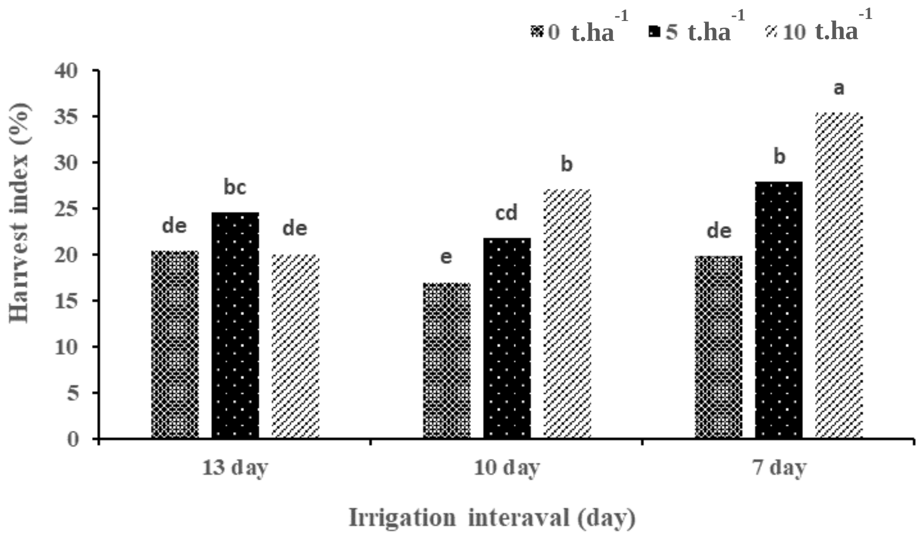
شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که شاخص برداشت تحت تأثیر اثر متقابل زئولیت و دور آبیاری در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های اثر متقابل دور آبیاری و زئولیت نشان داد که در دور آبیاری ۱۳ روز، مصرف پنج تن در هکتار زئولیت، بیشترین شاخص برداشت را داشت و سطح ۱۰ تن در هکتار و عدم مصرف زئولیت در این دور آبیاری، شاخص برداشت یکسانی داشتند. با کاهش فاصله آبیاری به ۱۰ و ۷ روز مشاهده شد که با افزایش مصرف زئولیت، شاخص برداشت افزایش یافت و در این بین، بیشترین شاخص مربوط به دور آبیاری هفت روز و مصرف زئولیت ۱۰ تن در هکتار به‌میزان ۳۵/۵ درصد بود (شکل ۴). با توجه به کاهش شاخص برداشت در اثر تنش خشکی، چنین استنباط می‌گردد که محدودیت آب بر تولید عملکرد دانه (رشد زایشی)، اثر بیشتری نسبت به رشد رویشی داشته و آن را با شدت بیشتری کاهش داده است. نتایج تحقیق حاضر با یافته‌های ایوبی‌زاده و همکاران (Ayobizadeh et al., 2017)

مبنی بر کاهش شاخص برداشت با اعمال تنش خشکی مطابقت داشت. این محققین دلیل این کاهش را تأثیر بیشتر کمبود رطوبت بر فرآیندهای زایشی در مقایسه با رشد رویشی ذکر کردند. شاخص برداشت معیاری از نسبت وزن دانه به کل گیاه است و ارقام پرمحصول شاخص برداشت بالاتری دارند ،در تأیید این نتایج مبنی بر کاهش شاخص برداشت در نتیجه تنش خشکی، نتایج تحقیق دیگری نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش شاخص‌های رشد و عملکرد در کینوا می‌شود (Hinojosa et al., 2018).

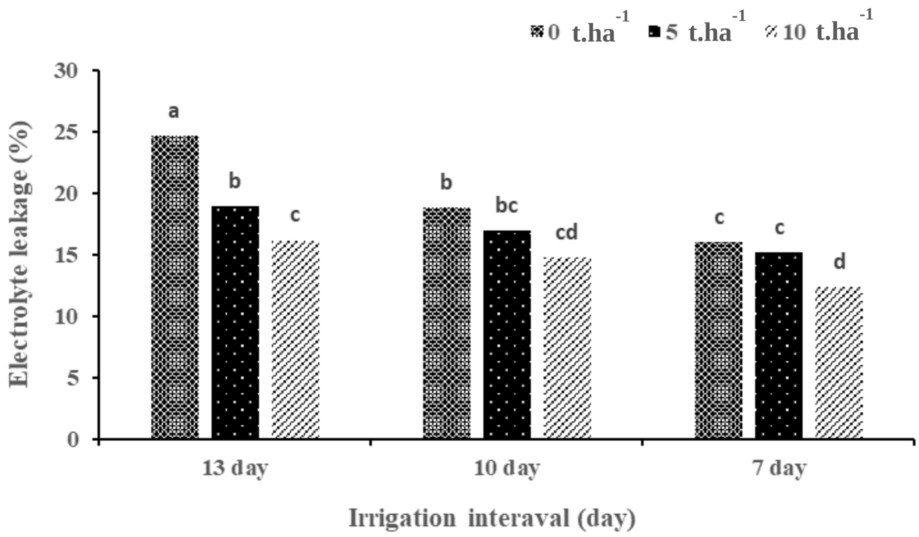
نشت الکترولیت

نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که نشت الکترولیت تحت اثر متقابل دور آبیاری و زئولیت در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین نشت الکترولیت مربوط به اثر متقابل دور آبیاری ۱۳ روز و عدم مصرف زئولیت (۲۴/۷۲ درصد) و کمترین میزان این ویژگی مربوط به دور آبیاری ۱۰ و ۷ روز و مصرف ۱۰ تن زئولیت به‌ترتیب به‌میزان ۱۴/۸ و ۱۲/۳۴ درصد بود (شکل ۵). در اثر تنش آبی، تراوایی غشای سلول افزایش می‌یابد و باعث می‌شود که الکترولیت‌های موجود در داخل سلول به‌سمت بیرون از سلول نشت کنند (Mirzakhani & Maleki, 2015). با کاهش مقدار آب آبیاری، تنش خشکی وارده به گیاه افزایش می‌یابد و در نتیجه، غشای سلول‌ها به‌شدت آسیب خواهند دید و باعث کاهش توانایی سلول در کنترل ورود و خروج مواد از غشای سلولی خواهد شد. بر اساس گزارش‌ها، زئولیت توانست مقدار پایداری غشای سلول‌ها را در برابر نشت الکترولیت‌های سلول افزایش دهد. به نظر می‌رسد که مصرف زئولیت از طریق فراهم نمودن مقادیر بیشتری از آب آبیاری برای ریشه‌ها، باعث ایجاد شرایط رشد و نمو بهتری برای گیاهان شده و تخریب غشای سلول‌ها را کاهش می‌دهد (Mirzakhani & Sibi, 2010).



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل دور آبیاری و زئولیت بر شاخص برداشت لوبیا سفید

Fig. 4- Mean comparison of interaction effect of irrigation intervals and zeolite on harvest index of Navy bean



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل دور آبیاری و زئولیت بر میزان نشت الکترولیت لوبیا سفید

Fig. 5- Mean comparison of the interaction effect of irrigation intervals and zeolite on n Navy bean Electrolyte leakage

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده، می‌توان گفت که تنش خشکی منجر به کاهش ویژگی‌های رشد و عملکرد لوبیا سفید رقم پاک شد.. کمترین مقادیر پارامترهای محاسبه شده در این تحقیق در سطح عدم مصرف زئولیت و دور آبیاری ۱۳ روز و بیشترین مقدار آن‌ها در سطح زئولیت ۱۰ تن در هکتار و دور آبیاری هفت روز مشاهده شد که نمایان‌گر این موضوع است که زئولیت و مقدار آن تحت تأثیر خاصیت جذب آب و آزاد کردن آن در هنگام نیاز گیاه به آب، بر رشد بافت‌های مختلف گیاهی و تولید محصول بیشتر، مؤثر واقع شده است. همچنین مشاهده شد که تمامی ویژگی‌های مورد بررسی به‌جز طول دوره رشدی تحت اثر مصرف زئولیت قرار گرفتند و اثر دور آبیاری بر ویژگی‌های مورد بررسی معنی‌دار بود. به‌طور کلی، می‌توان گفت که کاربرد زئولیت در سطوح بالا (۱۰ تن در هکتار) و به‌ویژه تحت اثر دور آبیاری هفت روز، می‌تواند منجر به تولید حداکثر عملکرد و ویژگی‌های رشدی لوبیا سفید گردد. اگرچه برای توصیه قطعی این راهکار لازم است مطالعات تکرار و سطوح بالاتر زئولیت در بافت‌های مختلف خاک بررسی شود.

References

Ahmadi Azar, F., Hasanloo, T., Imani, A., & Feiziasl, V. (2015). Water stress and mineral zeolite application on growth and some physiological characteristics of *Malva sylvestris*. *Journal of Plant Research*, *28*(3), 474-459. (In Persian)

Ahmadi, M., Khashei Siuk, A., & Sayyar, M.H. (2014). Type and amount evaluation of natural clinoptilolite zeolites impacts on saffron (*Crocus sativus* L.) emergence. *Journal of Saffron Research*, *1*(2), 97-109. (In Persian) http://doi.org/10.22077/jsr.2013.437

Amiri, A., Cyrus Mehr, A., & Esmailzadeh Behbadi, S. (2016). Effect of salicylic acid and chitosan soluble application on plant safflower yield under drought stress conditions. *Journal of Plant Research*, *28*(4), 712-725. (In Persian)

Ayobizadeh, N., Laei, G., Amini Dehaghi, M., Masood Sinaki, J., & Bidokhti, S.R. (2017). Effect of nano-iron and folic acid foliar application on yield and yield components of sesame varieties after wheat cultivation under drought stress conditions. *Journal of Crop Production Research*, *9*, 283-312. (In Persian with English Abstract)

Bates, L.S., Waldern, R.P., & Trear, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water- stress studies. *Journal of Plant Soil*, *39*(1), 205-207. http://dx.doi.org/10.1007/BF00018060

Dashtaki, M., Alipour Yamchi, H.M., & Bihamta, M.R. (2016). Evaluation of the effects of late season water stress on genotypes of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Pulses Research, 6*(2), 109-123. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/IJPR.V1394I2.52687

Davoodi, S.H., Rahemi Karizaki, A., Nakhzari Moghaddam, A., & Gholamalipour, E. (2018). The effect of deficit irrigation using drought tolerance indices in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Crop Ecophysiology, 9*(31): 14-17. (In Persian with English Abstract)

Emadi, N., Jahanbin, S., & Balochi, H. (2013). Effect of drought stress and plant density on yield and some physiological characteristics of pinto beans (*Phaseolus vulgaris*) in Yasouj region. *Journal of Crop Production and Processing, 3*(8), 25-36. (In Persian)

Esmaeilzadeh, V., Zahedi, H., Sharghi, Y., Modarres Sanavy, S.A.M., & Alaviasl, S.A. (2018). Interaction effect of zeolite and salt stress in reproductive stage of four canola (*Brassica napus* L.) varieties. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 11*(2), 393-400. (In Persian) https://doi.org/10.22077/escs.2017.354.1076

Ghanbari, A.A., Keshavarz, S., Mousavi, S.H., & Abbasian, A. (2012). Effect of water deficiency on yield and yield components of red and white bean and pinto bean. Fifth National Congress of Pulses, September 29. 2013. Agriculture and Natural Resources Campus of Tehran University. Tehran. Iran.

Gharmani, Y., Hosseini Abri, S.A., & Hani, A. (2010). The effects of using zeolite as a soil conditioner on the improvement of corn plant growth and its role on the performance and components of grain yield. National Conference on Management of Drought Stress and Water Shortage in Agriculture, March 3. 2010. Arsanjan, Fars, Iran. (In Persian)

Ghashang Mianch, R., Borzo, A., & Nemati, N. (2015). Effect of zeolite on yield and yield components of mung bean in Varamin area. (Abstract). In: Third International Conference on Agriculture and Sustainable Natural Resources. Karaj, Iran. p.156. (In Persian)

Gholamhosseini, M.A., Qalavand, A., & Jamshidi, V. (2008). The Effect of irrigation regimes and fertilizer treatments on grain yield and elements concentration in leaf and grain of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Research and Development, 79*, 91-100. (In Persian)

Ghorbanli, M., & Niakan, M. (2005). Evaluation of drought stress effect on soluble sugars content, protein, prolin and phenolic compounds and nitrate reeducates activity in soybean cultivar Gorgan 3. *Journal of Science Education, 1*(2), 537-550 (In Persian)

Habib Porkashefi, E., Gharineh, M.H., Shafeinia, A.R., & Roozrokh, M. (2017). Effect of different levels of zeolite on yield of red bean (*Phasaeolus vulgaris* L.) under drought stress in Kermanshah climate condition. *Journal of Crop Production Technology, 17*(1), 141-151. (In Persian) https://doi.org/10.22084/PPT.2017.2209

Hinojosa, L., González, J. A., Barrios Masias, F.H., Fuentes, F., & Murphy, K.M. (2018). Quinoa abiotic stress responses: A review. *Journal of Plants, 7*(4), 1-32. https://doi.org/10.3390/plants7040106

Keshavarznia, R., Mohammadi Nargesi, B., & Abasi, A. (2013). The study of genetic variation of *Phaseolus vulgaris* L. based on morphological traits under normal and stress conditions. *Journal of Field Crop Science, 44*(2), 305-315. (In Persian) https://doi.org/10.22059/IJFCS.2013.35119

Khaghani, S.H., Bihamta, M.R., Changizi, M., Dari, H., Khaghani, S., Bakhtiari, A., & Safapour, M. (2010). Compare quantitative and qualitative traits of white and kidney bean in normal irrigation and drought stress conditions. *Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences, 1*(2), 169-182. (In Persian)

Khashei Siuki, A., Shahidi, A., Dastourani, M., Fallahi, H.R., & Shirzadi, F. (2020). Investigating the effect of amendments of zeolite, superabsorbent polymer, and different amounts of irrigation on sesame yield. *Journal of Water Research in Agriculture, 34*(2), 243-255. (In Persian) https://doi.org/10.22092/jwra.2020.122261

Li, X., He, J.Z., Hughes, J.M., Liu, Y.R., & Zheng, Y.M. (2014). Effects of super-absorbent polymers on a soil – wheat (*Triticum aestivum* L.) system in the field. *Journal of Applied Soil Ecology, 73*, 58-63. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.08.005

Magomya, A.M., Kubmarawa, D., Ndahi, J.A., & Yebpella, G.G. (2014). Determination of plant proteins via the Kjeldahl method and amino acid analysis: A comparative study. *International Journal of Science Technology Research, 3*(4), 68-72.

Majnoon Hosseini, N. (2008). Cultivation and production of legumes. University Jihad Publications, Iran. 290 p. (In Persian)

Mehrabi, Z., & Ehsanzadeh, P. (2011). A study on physiological attributes and grain yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars under different soil moisture regimes. *Journal of Crops Improvement, 13*(2), 75-88. (In Persian)

Mirzakhani, M., & Sibi, M. (2010). Response of safflower physiological traits to water stress and zeolite application. The Proceedings of Iranian National Congress on Agricultural and Sustainable Development. Islamic Azad University, Shiraz Branch, Iran. (In Persian)

Mirzakhani, M., (2017). Evaluation of electrical conductivity, chlorophyll and seed yield of wheat under water stress with zeolite application. *Journal of Crop Ecophysiology, 11*(1), 111-126. (In Persian)

Mirzakhani, M., & Maleki, G.R. (2015). Evaluation of some physiological characteristics of wheat under water stress and zeolite application. *Applied Field Crops Research, 28*(107), 58-66. (In Persian)

Motaghi, S., Motaghi, L., ShiraniRad, A., & lotfifar, O. (2019). Study the efficiency of zeolite in reduce the effect of drought stress on agronomical traits and seed yield of rapeseed in Karaj region. *Journal of Plant Ecophysiology, 11*(36), 256-271. (In Persian)

Nasrollahi, A.H., Ahmadi, H., Sabzevari, Y., & Nouri, S. (2020). Comparison of variations of water stress index of chika bean plant under surface irrigation and drip tape irrigation using infrared thermometer . *Journal of Water and Soil Science, 24*(2): 13-26. (In Persian)

Rejeb, K.B., Abdelly, C., & Savouré, A. (2014). How reactive oxygen species and proline face stress together. *Journal of Plant Physiolo and Biochemistry, 80*, 278-284. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.04.007

Sairam, R.K, Rao, K.V., & Srivastava, G.C. (2002). Differential response of wheat genotypes to long-term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Journal of Plant Science, 163*, 1037-1046. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00278-9

Salehi, F., (2015). Principles of breeding and cultivation of common bean. Agricultural and Natural Resources Research Education Publication, 256 p. (In Persian)

Shaukti Moqrabi, M., Tohidinejad, A., & Rezaei Ishtaroieh, A. (2016). The effect of different irrigation regimes on the performance of promising lines of common millet. The fourteenth National Conference on Irrigation and Evaporation Reduction, September 5. (2017). Kerman Shahid Bahonar University, Iran. (In Persian)

Valadabadi, A. (2013). Investigating the effect of using biological fertilizers and zeolite on the quantitative properties of rice under drought stress conditions. National Conference on Applied Research in Science and Engineering, Islamic Azad University, Takestan branch, Iran.

Yari, S., Khalighi-Sigaroodi, F., & Moradi, P. (2013). Effects of different levels of zeolite on plant growth and amount of gel production in *Aloe vera* L. under different Irrigation. *Journal of Medicine Plants, 12*(48), 72-81. (In Persian)

Zadehbagheri, M., Kamelmanesh, M.M., Javanmardi, S., &Sharafzadeh, S. (2012). Effect of drought stress on yield and yield components, relative leaf water content, proline and potassium ion accumulation in different white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotype. *African Journal of Agricultural Research, 7*(42), 5661-5670. https://doi.org/10.5897/AJAR10.901

Zamani Nouri, A., Qashqais, A., & Hosseiniabri, S. (2014). Effect of zeolite on yield, yield components and protein content of red bean plant. The first national conference on sustainable agricultural development with the application of agricultural model, February 12. 2014. Islamic Azad University, Saveh branch, Iran.